



УДК 621.436

В. Л. КОНЮКОВ – к.т.н., доцент*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Украина***Е. В. БОГАТЫРЕВА** – ст. преподаватель*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Украина***В. Н. ЛУБЯНКО** – ст. преподаватель*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Украина*

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ 6 ЧНСП 18/22 ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ВЫПУСКНОГО ТРАКТА

В статье приведены результаты исследований влияния повышения сопротивления выпускного тракта дизеля 6 ЧНСП 18/22 на его рабочие параметры.

Ключевые слова: *дизель, отработавшие газы, противодействие на выпуске, газоздушный тракт, утилизация теплоты.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ

Анализ тепловых балансов судовых поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) показал, что основные объемы тепловых потерь энергии имеют место при отводе от двигателя отработавших газов (потери энергии с отработавшими газами) и при отводе охлаждающей воды (потери энергии с охлаждающей водой). Для современных четырехтактных дизелей с наддувом потери энергии с отработавшими газами составляют от 20 % до 45 % и потери энергии с охлаждающей водой - от 12 % до 20 % [1].

Работы по уменьшению указанных видов потерь ведутся по двум основным направлениям: создание новых конструкций дизелей, имеющих меньшие значения этих потерь и разработка различных устройств, позволяющих утилизировать бросовую теплоту уже существующих двигателей. Температура уходящих газов ДВС существенно превышает температуру охлаждающей воды на выходе из двигателя, поэтому утилизация теплоты уходящих газов позволяет существенно увеличить экономичность дизельной установки. С этой целью ДВС дополняется теплоутилизационным контуром, в состав

которого входит преобразователь тепловой энергии отработавших газов, например, утилизационный паровой или водогрейный котел, генератор утилизационной абсорбционной холодильной машины [2, 3].

В зависимости от степени утилизации теплоты и ограничений по массо-габаритным показателям каждый преобразователь имеет конкретное аэродинамическое сопротивление, которое создает повышенное давление на выпуске дизеля. Это повышение влияет на эксплуатационные характеристики двигателя [4]. Однако, каждый конкретный дизель по-разному реагирует на повышение выпускного сопротивления, особенно чувствительными являются двигатели с газотурбинным наддувом.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Объектом исследований в предлагаемой работе является четырехтактный дизель с газотурбинным наддувом 6 ЧНСП 18/22, который используется в качестве главного двигателя на малых рыбопромысловых судах типа СЧС. Исследования проводились аналитически по методике, разработанной кафедрой судовых энергетических установок КГМТУ. В процессе исследований было принято, что дизель работает по винтовой

характеристике с неизменной цикловой подачей топлива. Противодействие на выпуске изменялось от 0,002 до 0,012 МПа. Изменение сопротивления при сохранении цикловой подачи топлива приводит к изменению параметров рабочего тела по всему газоздушному тракту дизеля. При этом, прежде всего меняется степень понижения давления в турбине турбокомпрессора (рис. 1)

$$e_T = P_T / P_{2T}, \quad (1)$$

где P_T, P_{2T} - давление газов, соответственно перед турбиной и за ней.

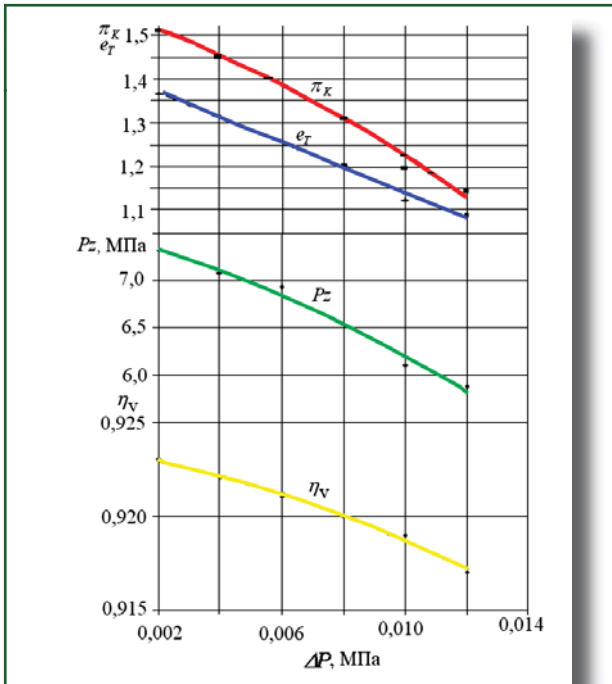


Рис. 1. Зависимости степени понижения давления в турбине турбокомпрессора e_T , степени повышения давления в компрессоре π_K , коэффициента наполнения η_V , максимального давления P_z от изменения сопротивления выпускного тракта

Повышение сопротивления газов на выпуске с 0,002 до 0,012 МПа понижает e_T с 1,366 до 1,122, что составляет 18 %. При этом относительная мощность турбины уменьшается от 0,072 до 0,018, что составляет 75% (рис. 2).

Относительная мощность турбины определялась по выражению:

$$\delta_T = \left[\eta_T G_T \frac{x}{x-1} R_T T_T \left(1 - e_T^{\frac{x-1}{x}} \right) \right] / N_i, \quad (2)$$

где η_T - КПД турбины; G_T - расход газов через турбину; x - показатель адиабаты газов; R_T - удельная газовая постоянная рабочего тела;

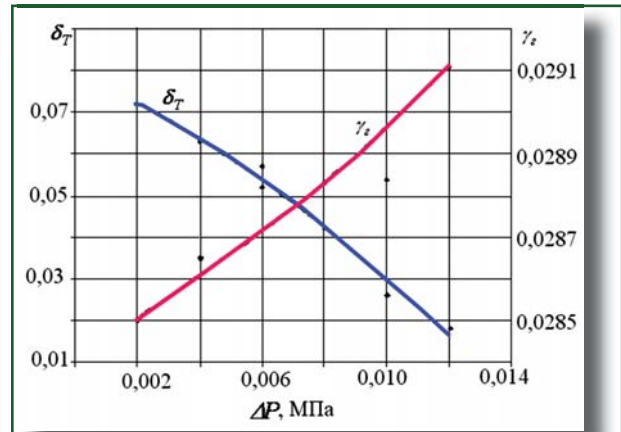


Рис. 2. Зависимости относительной мощности турбины (компрессора) и коэффициента остаточных газов от изменения сопротивления выпускного тракта

T_T - температура газов перед турбиной; N_i - индикаторная мощность дизеля.

Существенное уменьшение относительной мощности турбины вызвано снижением как e_T , так и G_T , который уменьшается с 0,336 до 0,236 кг/с, что составляет 24 % (рис. 3).

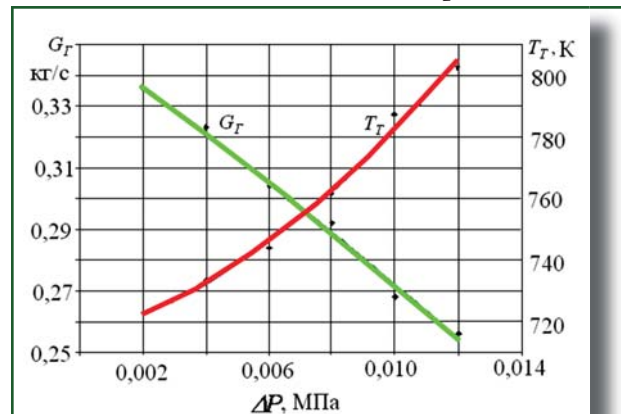


Рис. 3. Зависимости расхода газов через турбину G_T и температуры газа перед турбиной T_T от изменения сопротивления выпускного тракта

Следует отметить, что увеличение противодействия на выпуске в указанных пределах повышает температуру газов перед турбиной с 450 до 530 °С (рис. 3), а индикаторная мощность дизеля уменьшается от 194,1 до 179,2 кВт.

Уменьшение мощности турбины вызывает однозначное снижение относительной мощности компрессора (рис. 2)

$$\delta_K = \left[\frac{G_B}{\eta_K \eta_{МТК}} \frac{k}{k-1} R_B T_O \left(\pi_K^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right] / N_i, \quad (3)$$

где G_B - расход воздуха; η_K - КПД компрес-

сора; $\eta_{МТК}$ - механический КПД турбокомпрессора; k - показатель адиабаты воздуха; R_B - удельная газовая постоянная воздуха; T_0 - температура воздуха перед компрессором; π_K - степень повышения давления в компрессоре.

Понижение мощности компрессора, в свою очередь, вызывает уменьшение G_B и π_K .

Увеличение сопротивления на выпуске дизеля с 0,002 до 0,012 МПа приводит к уменьшению π_K с 1,511 до 1,142 (рис. 1), что составляет 24,4 %, то есть изменение π_K больше, чем изменение e_T , которое, как указано выше, составляет 18 %. Относительное изменение расхода воздуха такое же, как и изменение относительного расхода газа. Снижение π_K и G_B уменьшает параметры рабочего тела в конце наполнения, при этом давление в конце наполнения P_a понижается с 0,139 до 0,104 МПа, а температура T_a - с 346,9 до 335,4 К.

Изменение параметров воздуха перед впускными органами и параметров газа в конце процесса наполнения (перед процессом сжатия) приводит к изменению коэффициента наполнения η_V , который уменьшается с 0,923 до 0,917 (рис. 1). Коэффициент наполнения определяется по выражению:

$$\eta_V = \frac{\varepsilon P_a T_K I}{\varepsilon - 1 P_K T_a I + \gamma_2}, \quad (4)$$

где ε - действительная степень сжатия ($\varepsilon = 12,1$); T_K, P_K - соответственно температура и давление воздуха перед впускными клапанами; γ_2 - коэффициент остаточных газов, который при повышении давления на выпуске от 0,002 до 0,012 МПа увеличивается на 2 % (рис. 2).

Понижение температуры рабочего тела в конце процесса наполнения приводит к уменьшению его температуры в момент начала подачи топлива, а это увеличивает время задержки воспламенения топлива τ_i (или повышается угол поворота коленчатого вала φ_i , соответствующий времени задержки самовоспламенения топлива) (рис. 4). При увеличении сопротивления на выпуске дизеля с 0,002 до 0,012 МПа τ_i увеличивается на 23 %, при этом угол, соответствующий максимальной температуре газов, повысился на 4 град.

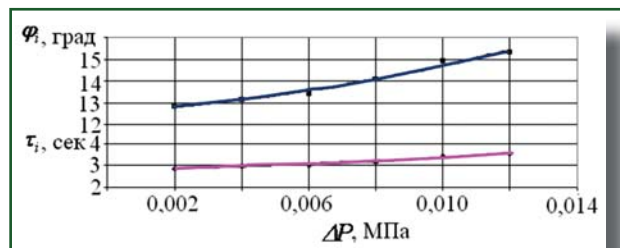


Рис. 4. Зависимости времени задержки воспламенения топлива τ_i и соответствующего угла поворота коленчатого вала φ_i от изменения сопротивления на выпуске

Снижение расхода воздуха при неизменной цикловой подаче топлива однозначно уменьшает общий коэффициент избытка воздуха α (рис. 5). Это уменьшение составило 22,5 %. Снижение α приводит к существенному увеличению максимальной температуры T_Z (рис. 5), которая повысилась на 187 К. Такое повышение T_Z вызывает увеличение тепловой напряженности дизеля, что необходимо учитывать при модернизации его газовыпускной системы. В то же время максимальное давление P_Z уменьшается с 7,32 до 5,87 МПа (рис. 1), что снижает механическую напряженность.

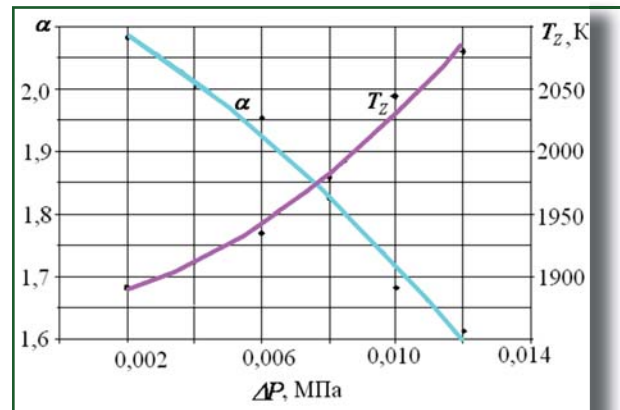


Рис. 5. Зависимости коэффициента избытка воздуха α и максимальной температуры T_Z от изменения сопротивления на выпуске

Повышение сопротивления на выпуске дизеля понижает его эффективную мощность N_e с 165 до 152,3 кВт (рис. 6), что составляет 7,7 %. При этом уменьшается его эффективный КПД на 5 % относительных. Эффективный удельный расход топлива возрастает от 0,2270 до 0,2394 кг/кВт·ч (рис. 6).

Таким образом, основными причинами снижения мощности дизеля при увеличении

сопротивления на выпуске являются:

- уменьшение массового расхода рабочего тела;
- повышение степени предварительного расширения, что вызвано задержкой воспламенения топлива и его догоранием в процессе расширения;
- увеличение температуры газов в выпускном коллекторе дизеля.

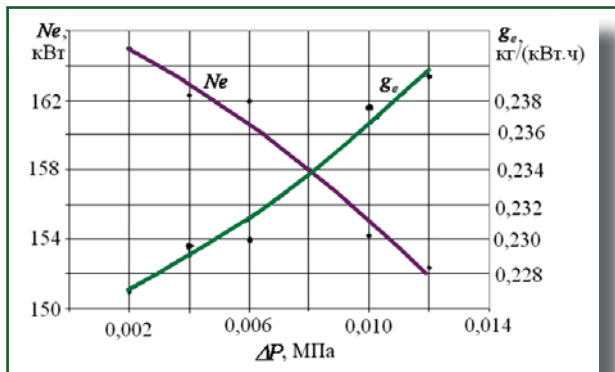


Рис. 6. Зависимости эффективной мощности N_e и эффективного удельного расхода топлива от изменения сопротивления на выпуске

Следует обратить внимание на изменение отношения давления рабочего тела в выпускном коллекторе к давлению перед цилиндром K_{PT} (рис. 7). При сопротивлении на выпуске большем 0,006 МПа это отношение становится больше единицы и возникает обратное течение газов из цилиндра во впускной трубопровод в момент открытия впускного клапана. Это явление называется обратным выбросом [1]. Обратный выброс наблюдается у четырехтактных дизелей с газотурбинным наддувом при работе на частичных нагрузках, когда имеет место существенное снижение мощности газовой турбины надувочного агрегата. Повышение сопротивления на выпуске при неизменной цикловой подаче топлива приводит к существенному уменьшению мощности турбины, что вызывает обратный выброс.

Изменение параметров рабочего тела в газозоудушном тракте дизеля, и, прежде всего расхода и температуры рабочего тела за турбиной турбонаддувочного агрегата, изменяют резервы утилизации теплоты отработавших газов. Для оценки резервов утилизации теплоты использовалась располагаемая для

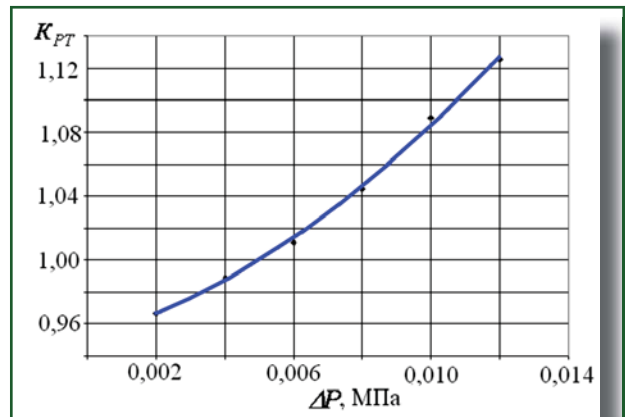


Рис. 7. Зависимость отношения давления рабочего тела в выпускном коллекторе к давлению перед цилиндром от изменения сопротивления на выпуске

утилизации теплота, которая определялась по выражению:

$$Q_p = G_T (c_{pT} T_{2T} + c_{pT0} T_0), \quad (5)$$

где c_{pT} , c_{pT0} - теплоемкость газа соответственно при температуре рабочего тела за турбиной T_{2T} и температуре окружающей среды T_0 . При увеличении сопротивления на выпуске от 0,002 до 0,012 МПа Q_p снижется на 2,8% (рис. 8).

Уменьшение мощности главного двигателя приводит к снижению скорости судна и, соответственно, его рентабельности. Для сохранения скорости судна требуется увеличение мощности двигателя до расчетного значения, на что затрачивается дополнительное количество топлива. Увеличение часового расхода топлива ΔB приведено на рис. 8.

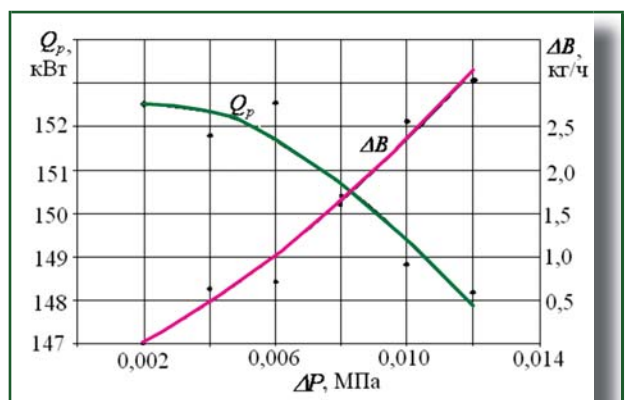


Рис. 8. Зависимости резерва утилизации и часового расхода топлива от изменения сопротивления на выпуске

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлено, что повышение сопротивления

на выпуске дизеля 6 ЧНСП 18/22 оказывает существенное влияние на эксплуатационные параметры: уменьшение e_T и π_K приводят к снижению коэффициента избытка воздуха, существенно увеличивается температура T_Z , что повышает теплонапряженность двигателя, при этом уменьшаются мощность и КПД. Однако располагаемая для утилизации тепла уходящих газов изменяется несущественно. Полученные результаты позволяют определить параметры утилизационного оборудования при модернизации судовой энергетической установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев О. Н. Двигатели внутреннего сгорания речных судов : Учебник для вузов / О. Н. Лебедев, В. А. Сомов, С. А. Калашников. — М. : Транспорт, 1990. — 219 с.
2. Беляев И. Г. Эксплуатация судовых утилизационных установок / И. Г. Беляев. — М. : Транспорт, 1987. — 175 с.
3. Конюков В. Л. Оптимизационные исследования утилизационного котла малого промыслового судна / В. Л. Конюков, Е. В. Богатырева // Рыбное хозяйство

Украины. – 2011. – №5 (76). – С. 33-36.

4. Гаврилов В. С. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок : Учебное пособие для вузов / В. С. Гаврилов, С. В. Камкин, В. П. Шмелев. — М. : Транспорт, 1985. — 288 с..

СТАТЬЯ ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.07.2013 г.

В. Л. КОНЮКОВ, О. В. БОГАТИРЬОВА, В. М. ЛУБЯНКО

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА 6 ЧНСП 18/22 ПРИ РІЗНОМУ ОПІРУ ВИПУСКНОГО ТРАКТУ

У статті приведені результати досліджень впливу підвищення опору випускного тракту дизеля 6 ЧНСП 18/22 на його робочі параметри.

Ключові слова: дизель, гази, що відпрацювали, протитиск на випуску, газоповітряний тракт, утилізація теплоти.

V. L. KONYUKOV, E. V. BOGATYREVA, V. N. LUBYANKO

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE ENGINE 6 CNSP 18/22 WITH DIFFERENT RESISTANCE OF THE EXHAUST GAS TRACT

The results of studies of the effect of resistance increase of the diesel 6 CNSP 18/22 exhaust gas tract on its operating parameters are given in the article.

Keywords: diesel, exhaust gases, back pressure in the exhaust, gas-air tract, heat recovery.

